



(11) **EP 3 625 629 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
24.07.2024 Patentblatt 2024/30

(21) Anmeldenummer: **18739772.4**

(22) Anmeldetag: **29.06.2018**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
G05B 19/406^(2006.01) B23Q 17/00^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**G05B 19/406; G05B 2219/33002;
G05B 2219/33296; G05B 2219/37226**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2018/067525

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2019/007820 (10.01.2019 Gazette 2019/02)

(54) **VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DES ZUSTANDS EINER SPINDEL EINER WERKZEUGMASCHINE**

DEVICE AND METHOD FOR DETERMINING THE CONDITION OF A SPINDLE OF A MACHINE TOOL
PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DESTINÉS À LA DÉTERMINATION DE L'ÉTAT D'UN MANDRIN D'UNE MACHINE-OUTIL

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **04.07.2017 EP 17179597**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
25.03.2020 Patentblatt 2020/13

(73) Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft
80333 München (DE)**

(72) Erfinder:
• **BÜTTNER, Florian
81541 München (DE)**
• **BUGGENTHIN, Felix
81373 München (DE)**

- **BUTZ, Felix
97421 Schweinfurt (DE)**
- **DOMASCHKE, Georg
02782 Seifhennersdorf (DE)**
- **HELBIG, Michael
96106 Ebern (DE)**
- **SIEGEL, Philipp
08064 Zwickau (DE)**
- **VOM EYSER, Werner
85560 Ebersberg (DE)**

(74) Vertreter: **Siemens Patent Attorneys
Postfach 22 16 34
80506 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**CN-B- 102 825 504 US-A- 5 566 092
US-A1- 2014 298 099**

EP 3 625 629 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Bestimmen eines Spindelzustands einer Spindel einer Werkzeugmaschine sowie ein derartiges Verfahren.

[0002] Während des Betriebs einer Spindel einer Werkzeugmaschine - auch Werkzeugspindel genannt - können unerwartete Fehler aufgrund verschiedener Ursachen auftreten. Beispielsweise ist es möglich, dass die Spindel, wenn sie über längere Zeit in einem erhöhten Belastungslevel läuft, frühzeitig und somit vor dem Ende ihrer eigentlichen Lebensdauer ausfällt. Heutige Systeme verfügen über keine Schnittstelle, die eine Anzeige von Daten, die einen derzeitigen Spindelzustand beschreiben, ermöglicht. Eine aktuelle Belastung der Spindel bzw. ein erhöhtes Fehlerrisiko können daher nicht mittels einer objektiven Messung bestimmt werden.

[0003] Gegenwärtig wird der Spindelzustand auf Basis von Erfahrungen eines Betreibers der Werkzeugmaschine abgeschätzt.

[0004] Aus der US 2014/298099 A1 ist ein intelligentes Erkennungssystem bekannt. Das System umfasst eine zentrale Verarbeitungsplatine, eine Datenerfassungsplatine, eine synchrone Kommunikationsplatine und mehrere Verbindungsstecker, wobei diese zur Datentransformation über Verbindungsstecker miteinander verbunden sind. Eine Vielzahl von Sensoren ist mit dem intelligenten Erfassungssystem verbunden, um die Daten zu sammeln, die den Betriebsstatus der zu erfassenden Vorrichtung widerspiegeln. Das intelligente Erfassungssystem dient einer Echtzeiterfassung und Diagnose des mechanischen Ausfalls durch Erfassen der Temperatur, der Vibration und/oder der Rauschsignale der Vorrichtung.

[0005] Die CN 102 825 504 B offenbart ein Zustandserfassungsverfahren für eine Hauptwelle einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine, die zum Gebiet der Werkzeugmaschinenfehlerdiagnose gehört. Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte: Erfassen eines Signals, das von einem Sensorsystem durch einen Host übertragen wird; und Analysieren des gemäß Schritt 1 erfassten Signals, Bestimmen eines Fehlerkennlinienparameters, Verarbeiten des erhaltenen Fehlerkennlinienparameters durch ein Spezialisten-System, ein künstliches Nervennetzwerkssystem bzw. einen Unterstützungsvektor, um drei Fehlerdiagnose-Ergebnisse zu erhalten, und Verschmelzen der drei Fehler Diagnoseergebnisse durch einen Algorithmus.

[0006] US 5 566 092 A betrifft ein Maschinenfehlerdiagnosesystem. Die Haupttechnik für die Fehlerdiagnose ist ein Fehlerdiagnosenetzwerk, das auf einer modifizierten neuronalen Netzwerkarchitektur basiert.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine derartige Werkzeugmaschine zu verbessern.

[0008] Die Lösung der Aufgabe gelingt durch eine Vorrichtung nach Anspruch 1. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen 2 bis 9. Zudem gelingt die Lösung der Auf-

gabe durch ein Verfahren nach Anspruch 10.

[0009] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen 11 und 12 zu finden.

[0010] Erfindungsgemäß charakterisiert die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Bestimmen eines Spindelzustands einer Spindel einer Werkzeugmaschine eine Belastung der Spindel. Erfindungsgemäß erfasst hierfür das Erfassungsmittel während eines Betriebs der Werkzeugmaschine Sensordaten der Spindel wie beispielsweise die Temperatur der Spindel, das Drehmoment der Spindel, die Kraft der Spindel und/oder die Rotationsgeschwindigkeit der Spindel. Insbesondere werden alle vorgenannten Sensordaten durch die Vorrichtung erfasst. Mittels der vorgenannten Sensordaten kann durch die Vorrichtung ein Spindelzustand ermittelt werden.

[0011] Die Verarbeitungseinheit analysiert die erfassten Sensordaten mittels künstlicher Intelligenz und bestimmt hieraus einen Spindelzustand. Vorteilhaft kategorisiert die Verarbeitungseinheit die Belastung der Spindel, vorzugsweise in mindestens vier Kategorien. Hierfür eignet sich besonders gut eine Einteilung in eine der vier folgenden Kategorien: Kategorie "permanent erlaubt", Kategorie "mittelfristig erlaubt", Kategorie "kurzfristig erlaubt" und Kategorie "nicht erlaubt".

[0012] In einer alternativen Ausführungsform zu den vier Kategorien kann auch eine Punktzahl, insbesondere eine kontinuierliche Punktzahl, zur Klassifizierung des Spindelzustands bereitgestellt werden. Wird beispielsweise die Punktzahl zwischen null und eins gewählt, so kann die Belastung der Spindel von "permanent erlaubt" - mit null gekennzeichnet- bis hin zu "nicht erlaubt" - mit eins gekennzeichnet - wiedergegeben werden. Selbstverständlich ist eine andersartige Nomenklatur ebenso denkbar.

[0013] Erfindungsgemäß erfasst das Erfassungsmittel die Sensordaten für ein definiertes Zeitfenster. Vorteilhaft beträgt das Zeitfenster zwischen 0,5 Sekunden und zehn Sekunden, insbesondere zwischen einer Sekunde und fünf Sekunden.

[0014] Vorzugsweise ermittelt die Verarbeitungseinheit mittels eines in der Verarbeitungseinheit hinterlegten Ensembles von mindestens zehn Entscheidungsbäumen aus den Sensordaten den bestimmten Spindelzustand. In der Verarbeitungseinheit ist ein Ensemble von regularisierten Entscheidungsbäumen hinterlegt. Erfindungsgemäß erfolgt dies, indem die Verarbeitungseinheit mittels der künstlichen Intelligenz mindestens ein definiertes Merkmal der Sensordaten auf Basis des definierten Zeitfensters und auf Basis der erfassten Sensordaten errechnet.

[0015] Vorzugsweise werden mehrere definierte Merkmale für jedes Signal, das von einem Sensor erfasst wird, für ein vorzugsweise werkseitiges oder auch von einem Kunden vorgegebenes und später nicht mehr veränderliches Zeitfenster errechnet.

[0016] Die definierten Merkmale sind beispielsweise

ein Mittelwert der Sensordaten und/oder Koeffizienten einer kontinuierlichen Wavelet-Transformation beispielsweise zusammen mit statistischen Merkmalen wie z. B. statistischen Momenten und/oder einer absoluten Summe von Änderungen innerhalb eines Zeitfensters. Dies führt zu einer guten Zeit-Frequenz-Darstellung der Signale. Mittels der künstlichen Intelligenz und des bereits erwähnten Ensembles von regularisierten Entscheidungsbäumen ermittelt die Verarbeitungseinheit auf Basis der definierten Merkmale den bestimmten Spindelzustand. Da der bestimmte Spindelzustand erfindungsgemäß die Belastung der Spindel charakterisiert, kann mittels der Verarbeitungseinheit die Belastung der Spindel kategorisiert werden.

[0017] Vorteilhaft wird zur Bestimmung des Spindelzustands die künstliche Intelligenz, insbesondere in Form eines Moduls für künstliche Intelligenz, auf Basis gekennzeichneten Sensordaten trainiert. Die Sensordaten können durch eine Zusammenstellung gesteuerter Experimente mit bekannten Belastungen der Spindel gewonnen werden. Auf diese Weise kann ein großer Umfang von typischen Betriebsarten, Betriebsmodi und Werkzeugen abgedeckt werden.

[0018] Während eines derartigen Trainings kann auch Gradient Boosting angewendet werden, um Parameter, welche die künstliche Intelligenz zur Abschätzung des Spindelzustands verwendet, anzupassen.

[0019] Die bekannte Belastung der Spindel wird zu Trainingszwecken vorteilhaft auf Basis eines kunden-spezifischen mechanistischen Modells einer Spindel bestimmt. Durch dieses Training lernt die künstliche Intelligenz, die Belastung der Spindel auf Basis der erfassten Sensordaten in verschiedenen Betriebsmodi vorherzusagen.

[0020] Als Alternative zum mechanistischen Modell kann zu Trainingszwecken auch Domain Expertise angewendet werden. Hierbei labelt bzw. markiert ein Experte die Sensordaten per Hand. Ein Experte weiß aus Erfahrung, wann die Belastung der Spindel ein Maximum erreicht, sodass ein derartiges Labeln möglich ist.

[0021] In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung erfolgt die Analyse der erfassten Sensordaten mittels künstlicher Intelligenz mittels eines Convolutional Neural Network- auch als CNN bezeichnet. Vorzugsweise werden hierfür Sensordaten innerhalb eines Zeitfensters ausgewertet.

[0022] Das CNN verwendet als Eingabewerte unverarbeitete Signale - auch Rohsignale genannt - nach einer trivialen Normalisierung - beispielsweise mittels Min-Max-Scaling oder Z-Score-Standardisierung. Auf diese Weise normalisierte Daten werden durch ein Netzwerk gewichteter nichtlinearer oder linearer Funktionen geschleust. Somit erlangte Werte werden mittels des Ausgabemittels ausgegeben und zeigen die derzeitige Belastung der Spindel an.

[0023] Vorzugsweise wird zudem ein Convolutional Layer verwendet, der eine Reihe lokaler Filter umfasst. Hierbei werden automatisch aussagekräftige Merkmale

aus den Signalen extrahiert.

[0024] Ein Fully-connected Layer verbindet Flattened Filters mit einer gewissen Anzahl an Ausgabeknoten. Vorzugsweise entspricht die Anzahl der Knoten den Kategorien der Belastung der Spindel. Jeder Knoten entspricht vorzugsweise einer der bereits erwähnten Kategorien "permanent erlaubt", "mittelfristig erlaubt", "kurzfristig erlaubt" und "nicht erlaubt". Ein finales Belastungslevel wird identifiziert, indem der Knoten gewählt wird, der mit dem größten Wert assoziiert wird.

[0025] Gewichtungen der linearen und nichtlinearen Funktionen des CNN werden durch fortlaufende Beispiele der Sensordaten mit einem bekannten Belastungstyp trainiert. Generierte Ausgabewerte werden mit einer Ground Truth verglichen.

[0026] Vorteilhaft ist das Ausgabemittel derart ausgebildet, den bestimmten Spindelzustand an ein Visualisierungsmittel zu übergeben. Das Visualisierungsmittel kann eine bereits bestehende Komponente (z. B. HMI) der Werkzeugmaschine sein oder als separates Visualisierungsmittel ausgeführt sein.

[0027] Als Visualisierungsmittel eignet sich besonders gut ein Display. Dieses Display kann Teil eines HMI-Systems sein. HMI steht hierbei für Human-Machine Interface. Ein HMI-System stellt eine Benutzerschnittstelle dar, durch welche ein Mensch mit einer Maschine in Kontakt treten kann.

[0028] Vorteilhaft wird das Belastungslevel der Spindel während des definierten Zeitfensters vom Ausgabemittel an das Visualisierungsmittel übergeben. Das Visualisierungsmittel kann das Belastungslevel beispielsweise in Form einer Ampel darstellen, die beispielsweise die bereits erläuterten vier Kategorien umfasst.

[0029] Zudem ist auch eine Darstellung mit einer Punktzahl oder einem kontinuierlichen Verlauf, vorzugsweise zwischen zwei Punktzahlen, oder eine andersartige Darstellung möglich.

[0030] Eine Generalisierungsfähigkeit der künstlichen Intelligenz hängt von einer Anzahl und Variation der Betriebsmodi, mit denen es trainiert wurde, ab. Ein Datensatz wird zu Trainingszwecken vorteilhaft in einen Trainingsdatensatz und einen Validierungsdatensatz geteilt. Die künstliche Intelligenz wird anhand des Trainingsdatensatzes optimiert. Anhand des Validierungsdatensatzes, der nicht während des Trainings verwendet wird, werden die künstliche Intelligenz sowie die erfindungsgemäße Vorrichtung getestet. Nach Beendigung des Trainings, wenn also ein Fehler auf ein Minimum reduziert wurde, werden alle Parameter gespeichert. Die Vorrichtung kann nun mit neuen Daten verwendet werden.

[0031] Die erfindungsgemäße Vorrichtung eignet sich besonders gut für eine Werkzeugmaschine mit einer Spindel. Die Werkzeugmaschine weist zudem vorteilhaft mindestens einen Sensor, welcher dem Erfassen von Spindel-daten dient, auf. Der Sensor ist vorteilhaft mit dem Erfassungsmittel der erfindungsgemäßen Vorrichtung verbunden. Zur Anzeige von Ausgabewerten eignet sich zudem ein Visualisierungsmittel, das Teil der Werk-

zeugmaschine ist oder als externes Gerät an die Werkzeugmaschine angebunden ist. Durch dieses ist der bestimmte Spindelzustand ausgebar.

[0032] Die Erfindung betrifft zudem ein Verfahren nach Anspruch 10.

[0033] In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird die Belastung der Spindel von der Verarbeitungseinheit kategorisiert.

[0034] In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung werden die Sensordaten vom Erfassungsmittel für ein definiertes Zeitfenster erfasst.

[0035] In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird der bestimmte Spindelzustand von der Verarbeitungseinheit mittels des in der Verarbeitungseinheit hinterlegten Ensembles von mindestens zehn Entscheidungsbäumen aus den Sensordaten ermittelt.

[0036] Erfindungsgemäß wird mindestens ein definiertes Merkmal der Sensordaten mittels des definierten Zeitfensters errechnet. Vorzugsweise werden mehrere definierte Merkmale errechnet.

[0037] In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird der bestimmte Spindelzustand von der Verarbeitungseinheit mittels des Ensembles von mindestens zehn Entscheidungsbäumen aus dem definierten Merkmal ermittelt. Vorzugsweise wird der bestimmte Spindelzustand von der Verarbeitungseinheit mittels des Ensembles von mindestens zehn Entscheidungsbäumen aus mehreren definierten Merkmalen der Sensordaten ermittelt.

[0038] In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung werden die erfassten Sensordaten mittels der künstlichen Intelligenz mittels des Convolutional Neural Network analysiert.

[0039] In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird der bestimmte Spindelzustand vom Ausgabemittel an ein Visualisierungsmittel übergeben.

[0040] Ein mit der Erfindung erzielter Vorteil besteht darin, dass eine quantitative Berechnung und Anzeige der aktuellen Belastung der Spindel, vorzugsweise in nahezu Echtzeit, ermöglicht wird. Da eine Verarbeitung in der Verarbeitungseinheit datengetrieben ist, kann die Verarbeitung mittels zusätzlicher Daten (z. B. Sensordaten und/oder Parameterdaten der Spindel) verbessert werden.

[0041] Die Vorrichtung benutzt künstliche Intelligenz, um eine datengetriebene nahe an einer Echtzeit-Ab-schätzung liegende derzeitige Belastung, der eine Spindel während des Betriebs ausgesetzt ist, zu erhalten.

[0042] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der in den Figuren beschriebenen Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

FIG 1 eine Ausgestaltung eines Systems umfassend eine Spindel, eine Vorrichtung sowie ein Visualisierungsmittel und

FIG 2 einen Ablauf des Verfahrens.

[0043] Figur 1 zeigt eine Ausgestaltung eines Systems

umfassend eine Spindel 1 einer Werkzeugmaschine 5, eine Vorrichtung 2 sowie ein Visualisierungsmittel 3. Sensordaten der Spindel 1 werden vom Erfassungsmittel der Vorrichtung 2 erfasst und in der Verarbeitungseinrichtung der Vorrichtung 2 mittels künstlicher Intelligenz analysiert. Aus der Analyse bestimmt die Verarbeitungseinrichtung den Spindelzustand. Das Ausgabemittel der Vorrichtung 2 übergibt den bestimmten Spindelzustand an ein Visualisierungsmittel 3. Das Visualisierungsmittel 3 ist als Display ausgeführt. Die Ampel 4 auf dem Visualisierungsmittel 3 ermöglicht eine Anzeige der vier Kategorien "permanent erlaubt", "mittelfristig erlaubt", "kurzfristig erlaubt" und "nicht erlaubt".

[0044] Figur 2 zeigt einen Ablauf des Verfahrens. Zuerst werden Signale Sges von Sensoren erfasst. Als Beispiele können hierfür die Temperatur der Spindel S1, das Drehmoment der Spindel S2, die Kraft der Spindel S(n-1) und die Rotationsgeschwindigkeit der Spindel Sn erfasst werden. Jedoch ist auch eine größere Anzahl von Signalen möglich.

[0045] Ein Verfahrensschritt V1 betrifft das bereits erwähnte Zeitfenster. Kontinuierliche Sensordaten werden mittels Zeitfenster einer bestimmten Länge - vorzugsweise zwischen 0,5 Sekunden und 10 Sekunden - unterteilt.

[0046] In einem Verfahrensschritt V2 werden die erfassten Sensordaten als Rohsignale in ein CNN, das in der eine künstliche Intelligenz umfassenden Verarbeitungseinheit hinterlegt ist, eingebracht.

[0047] Erfindungsgemäß werden in einem Verfahrensschritt V3 in der Verarbeitungseinheit mittels künstlicher Intelligenz mehrere definierte Merkmale für jedes Signal, das von einem Sensor erfasst wird, für ein vorzugsweise werkseitiges oder auch von einem Kunden vorgegebenes und später nicht mehr veränderliches Zeitfenster errechnet und diese in einem Verfahrensschritt V4 an ein Ensemble von regularisierten Entscheidungsbäumen bzw. Boosted Classification Trees übergeben.

[0048] In einem Verfahrensschritt V5 wird das Belastungslevel der Spindel vorzugsweise mittels des in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verfügbaren Ausgabemittels ausgegeben.

[0049] In einem Verfahrensschritt V6 wird die Belastung der Spindel, vorzugsweise kategorisiert, mittels eines Displays visualisiert.

[0050] Ein Verfahrensschritt V7 zeigt das bereits erläuterte Training der künstlichen Intelligenz mittels aufgenommenen Sensordaten und bekannter Belastung der Spindel.

[0051] Das Verfahren zeigt, dass in der Vorrichtung ein Weg implementiert ist, der auf einer merkmalsbasierten Annäherung beruht, sowie ein Weg, der sich auf neuronale Netze stützt. Der Weg über das CNN basiert hauptsächlich auf Rohsignalen und kann auf leichte Weise erweitert oder verbessert werden, indem neue Daten eingefügt werden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (2), zum Bestimmen eines Spindelzustands einer Spindel (1) einer Werkzeugmaschine (5), mit

einem Erfassungsmittel, welches einem Erfassen von Sensordaten der Spindel (1) dient, einer Verarbeitungseinheit, welche derart ausgebildet ist, dass sie die erfassten Sensordaten mittels künstlicher Intelligenz analysiert und hieraus einen Spindelzustand bestimmt, und einem Ausgabemittel zum Ausgeben des bestimmten Spindelzustands,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Erfassungsmittel derart ausgebildet ist, kontinuierliche Sensordaten zu erfassen und die Vorrichtung ausgebildet ist, diese mittels eines definierten Zeitfensters bestimmter Länge zu unterteilen,

die Verarbeitungseinheit derart ausgebildet ist, mittels künstlicher Intelligenz mindestens ein definiertes Merkmal der Sensordaten mittels des definierten Zeitfensters zu errechnen, und mittels eines, in der Verarbeitungseinheit hinterlegten Ensembles von regularisierten Entscheidungsbäumen auf Basis des mindestens einen Merkmals den bestimmten Spindelzustand zu ermitteln,

der bestimmte Spindelzustand eine Belastung der Spindel (1) charakterisiert.
2. Vorrichtung (2) nach Anspruch 1, wobei die Verarbeitungseinheit derart ausgebildet ist, die Belastung der Spindel (1) zu kategorisieren.
3. Vorrichtung (2) nach Anspruch 1 oder 2, wobei das mindestens eine definierte Merkmal ein Mittelwert der Sensordaten und/oder Koeffizienten einer kontinuierlichen Wavelet-Transformation insbesondere zusammen mit statistischen Merkmalen, insbesondere mit statistischen Momenten und/oder eine absoluten Summe von Änderungen innerhalb des definierten Zeitfensters sind.
4. Vorrichtung (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Verarbeitungseinheit derart ausgebildet ist, mittels eines in der Verarbeitungseinheit hinterlegten Ensembles von mindestens zehn Entscheidungsbäumen aus den Sensordaten den bestimmten Spindelzustand zu ermitteln.
5. Vorrichtung (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Verarbeitungseinheit derart ausgebildet ist, mittels des Ensembles von mindestens zehn Entscheidungsbäumen aus dem definierten Merkmal der Sensordaten den bestimmten Spindelzustand zu ermitteln.
6. Vorrichtung (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Analyse der erfassten Sensordaten mittels künstlicher Intelligenz mittels eines Convolutional Neural Network erfolgt.
7. Vorrichtung (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Ausgabemittel derart ausgebildet ist, den bestimmten Spindelzustand an ein Visualisierungsmittel (3) zu übergeben.
8. Werkzeugmaschine (5) mit einer Spindel, mindestens einem Sensor, welcher dem Erfassen von Spindel-daten dient, und einer Vorrichtung (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Sensor mit dem Erfassungsmittel verbunden ist.
9. Werkzeugmaschine (5) nach Anspruch 8, wobei die Werkzeugmaschine ein Visualisierungsmittel (3) aufweist, mittels dem der bestimmte Spindelzustand ausgebenbar ist, wobei das Ausgabemittel mit dem Visualisierungsmittel (3) verbunden ist.
10. Verfahren zum Bestimmen eines Spindelzustands mit einer Vorrichtung (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 7 mit folgenden Schritten:

- Erfassen der Sensordaten der Spindel (1) von dem Erfassungsmittel, wobei die Sensordaten vom Erfassungsmittel für ein definiertes Zeitfenster erfasst werden,
 - Analysieren der erfassten Sensordaten von der Verarbeitungseinheit mittels künstlicher Intelligenz,
 - Bestimmen eines Spindelzustands auf Basis der Analyse der erfassten Sensordaten,
 - Ausgeben des bestimmten Spindelzustands von dem Ausgabemittel,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Erfassungsmittel kontinuierliche Sensordaten erfasst und diese mittels eines definierten Zeitfensters bestimmter Länge unterteilt werden,

die Verarbeitungseinheit mittels künstlicher Intelligenz mindestens ein definiertes Merkmal der Sensordaten mittels des definierten Zeitfensters errechnet, und

mittels eines, in der Verarbeitungseinheit hinterlegten Ensembles von regularisierten Entscheidungsbäumen auf Basis des mindestens einen Merkmals den bestimmten Spindelzustand ermittelt, wobei

der bestimmte Spindelzustand eine Belastung der Spindel (1) charakterisiert.
11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Belastung der Spindel (1) von der Verarbeitungseinheit kate-

gorisiert wird.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, wobei der bestimmte Spindelzustand von der Verarbeitungseinheit mittels des in der Verarbeitungseinheit hinterlegten Ensembles von mindestens zehn Entscheidungsbäumen aus den Sensordaten ermittelt wird.

Claims

1. Device (2) for determining a spindle status of a spindle (1) of a machine tool (5), having

a sensing means which is used to sense sensor data of the spindle (1),
a processing unit, which is embodied so that it analyses the sensed sensor data by means of artificial intelligence and determines a spindle status herefrom, and
an output means for outputting the determined spindle status,

characterised in that

the sensing means is embodied so as to sense continuous sensor data and the device is embodied to subdivide this by means of a defined time frame of a determined length,
the processing unit is embodied to calculate at least one defined feature of the sensor data by means of the defined time frame using artificial intelligence and
to determine the determined spindle status using an ensemble of regularised decision trees stored in the processing unit on the basis of the at least one feature,
the determined spindle status characterises a load of the spindle (1).

2. Device (2) according to claim 1, wherein the processing unit is embodied so as to categorise the load of the spindle (1).

3. Device (2) according to claim 1 or 2, wherein the at least one defined feature are an average value of the sensor data and/or coefficients of a continuous wavelet transformation in particular together with statistical features, in particular with statistical torques and/or an absolute sum of changes within the defined time frame.

4. Device (2) according to one of claims 1 to 3, wherein the processing unit is embodied to ascertain the determined spindle status using an ensemble of at least ten decision trees comprising the sensor data and stored in the processing unit.

5. Device (2) according to one of claims 1 to 4, wherein the processing unit is embodied to ascertain the de-

termined spindle status using an ensemble of at least ten decision trees comprising the defined feature of the sensor data.

6. Device (2) according to one of claims 1 to 5, wherein the analysis of the sensed sensor data is carried out by means of artificial intelligence by means of a convolutional neural network.

7. Device (2) according to one of claims 1 to 6, wherein the output means is embodied so as to transfer the determined spindle status to a visualisation means (3).

8. Machine tool (5) having a spindle, at least one sensor, which is used to sense spindle data, and a device (2) according to one of claims 1 to 7, wherein the sensor is connected to the sensing means.

9. Machine tool (5) according to claim 8, wherein the machine tool has a visualisation means (3), by means of which the determined spindle status can be output, wherein the output means is connected to the visualisation means (3).

10. Method for determining a spindle status with a device (2) according to one of claims 1 to 7 with the following steps:

- sensing the sensor data of the spindle (1) using the sensing means, wherein the sensor data is sensed by the sensing means for a defined time frame,
- analysing the sensed sensor data using the processing unit by means of artificial intelligence,
- determining a spindle status on the basis of the analysis of the sensed sensor data,
- outputting the determined spindle status using the output means,

characterised in that

the sensing means senses continuous sensor data and this is subdivided by means of a defined time frame of a determined length,
the processing unit uses artificial intelligence to calculate at least one defined feature of the sensor data by means of the defined time frame, and ascertains the determined spindle status by means of an ensemble of regularised decision trees stored in the processing unit on the basis of the at least one feature,
wherein the determined spindle status characterises a load of the spindle (1).

11. Method according to claim 10, wherein the load of the spindle (1) is categorised by the processing unit.

12. Method according to claim 10 or 11, wherein the determined spindle status is ascertained by the processing unit by means of the ensemble of at least ten decision trees comprising the sensor data and stored in the processing unit.

5

Revendications

1. Installation (2) de détermination de l'état d'une broche (1) d'une machine-outil (5), comprenant

10

un moyen de saisie, qui sert à saisir des données de capteur de la broche (1),
une unité de traitement, qui est constituée, de manière à analyser les données de capteur saisies au moyen de l'intelligence artificielle et d'en déterminer un état de la broche, et
un moyen d'édition pour éditer l'état déterminé de la broche, **caractérisée en ce que**
le moyen de saisie est constitué, de manière à saisir continuellement des données de capteur et l'installation est constituée pour les subdiviser, au moyen d'un créneau temporel défini d'une longueur déterminée,
l'unité de traitement est constituée pour, au moyen de l'intelligence artificielle, calculer, au moyen du créneau temporel défini, au moins une caractéristique définie des données de capteur, et
au moyen d'un ensemble, mis en mémoire dans l'unité de traitement, d'arbres de décision régularisés, trouver, sur la base de la au moins une caractéristique, l'état déterminé de la broche, l'état déterminé de la broche caractérise une charge de la broche (1).

15

20

25

30

35

2. Installation (2) suivant la revendication 1, dans laquelle l'unité de traitement est constituée de manière à catégoriser la charge de la broche (1).

40

3. Installation (2) suivant la revendication 1 ou 2, dans laquelle la au moins une caractéristique définie est une valeur moyenne des données de capteur et/ou de coefficients d'une transformation d'ondelette continue, en particulier ensemble avec des caractéristiques statistiques, en particulier des moments statistiques et/ou une somme absolue de variations dans le créneau temporel défini.

45

50

4. Installation (2) suivant l'une des revendications 1 à 3, dans laquelle l'unité de traitement est constituée pour trouver au moyen d'un ensemble, mis en mémoire dans l'unité de traitement, d'au moins dix arbres de décision, l'état déterminé de la broche à partir des données de capteur.

55

5. Installation (2) suivant l'une des revendications 1 à

4, dans laquelle l'unité de traitement est constituée pour, au moyen de l'ensemble d'au moins dix arbres de décision, trouver l'état déterminé de la broche à partir de la caractéristique définie des données de capteur.

6. Installation (2) suivant l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle l'analyse des données de capteur saisies s'effectue au moyen de l'intelligence artificielle à l'aide d'un réseau neuronal de convolution.

7. Installation (2) suivant l'une des revendications 1 à 6, dans laquelle le moyen d'édition est constitué pour présenter l'état déterminé de la broche sur un moyen (3) de visualisation.

8. Machine-outil (5) comprenant une broche, au moins un capteur, qui sert à la saisie de données de broche et une installation (2) suivant l'une des revendications 1 à 7, le capteur étant relié au moyen de saisie.

9. Machine-outil (5) suivant la revendication 8, dans laquelle la machine-outil a un moyen (3) de visualisation, au moyen duquel l'état déterminé de la broche peut être présenté, le moyen d'édition étant relié au moyen (3) de visualisation.

10. Procédé de détermination de l'état d'une broche par une installation (2) suivant l'une des revendications 1 à 7 comprenant les stades suivants :

- saisie des données de capteur de la broche (1) par le moyen de saisie, dans lequel on saisit les données du capteur par le moyen de saisie dans un créneau temporel défini,
- analyse par l'unité de traitement au moyen de l'intelligence artificielle des données de capteur saisies,
- détermination d'un état de la broche sur la base de l'analyse des données de capteur saisies,
- édition par le moyen d'édition de l'état déterminé de la broche,

caractérisé en ce que

le moyen de saisie saisit continuellement des données de capteur et on subdivise celles-ci au moyen d'un créneau temporel défini d'une longueur déterminée,
l'unité de traitement au moyen de l'intelligence artificielle calcule, au moyen du créneau temporel défini, au moins une caractéristique définie des données de capteur, et
au moyen d'un ensemble, mis en mémoire dans l'unité de traitement, d'arbres de décision régularisés, trouve l'état déterminé de la broche sur la base de la au moins une caractéristique, dans lequel,

l'état déterminé de la broche caractérise une charge de la broche (1).

11. Procédé suivant la revendication 10, dans lequel on catégorise la charge de la broche (1) par l'unité de traitement. 5
12. Procédé suivant la revendication 10 ou 11, dans lequel on trouve à partir des données de capteur, l'état déterminé de la broche par l'unité de traitement, au moyen de l'ensemble, mis en mémoire dans l'unité de traitement, d'au moins dix arbres de décision. 10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

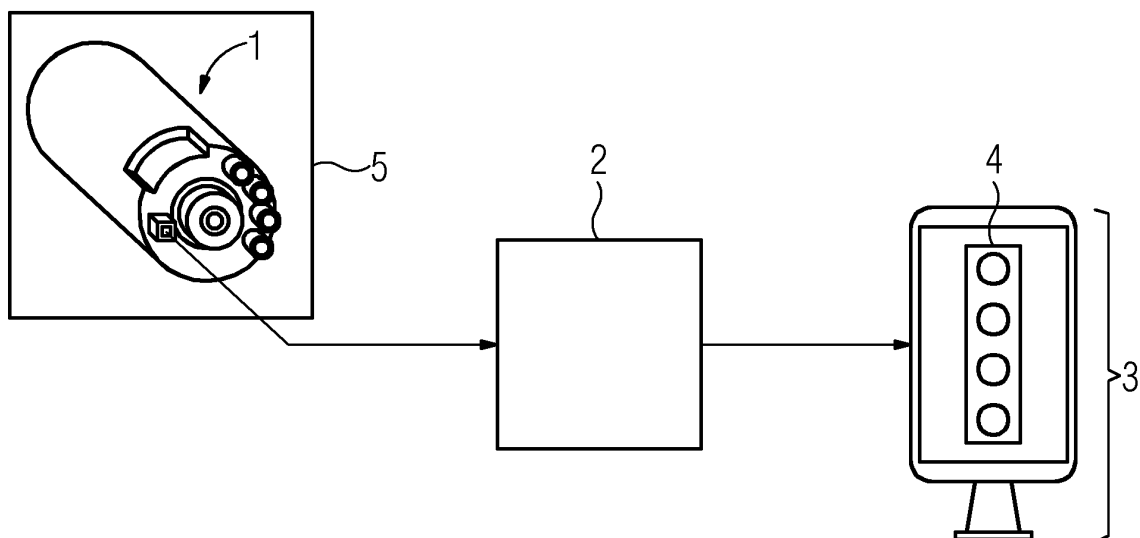
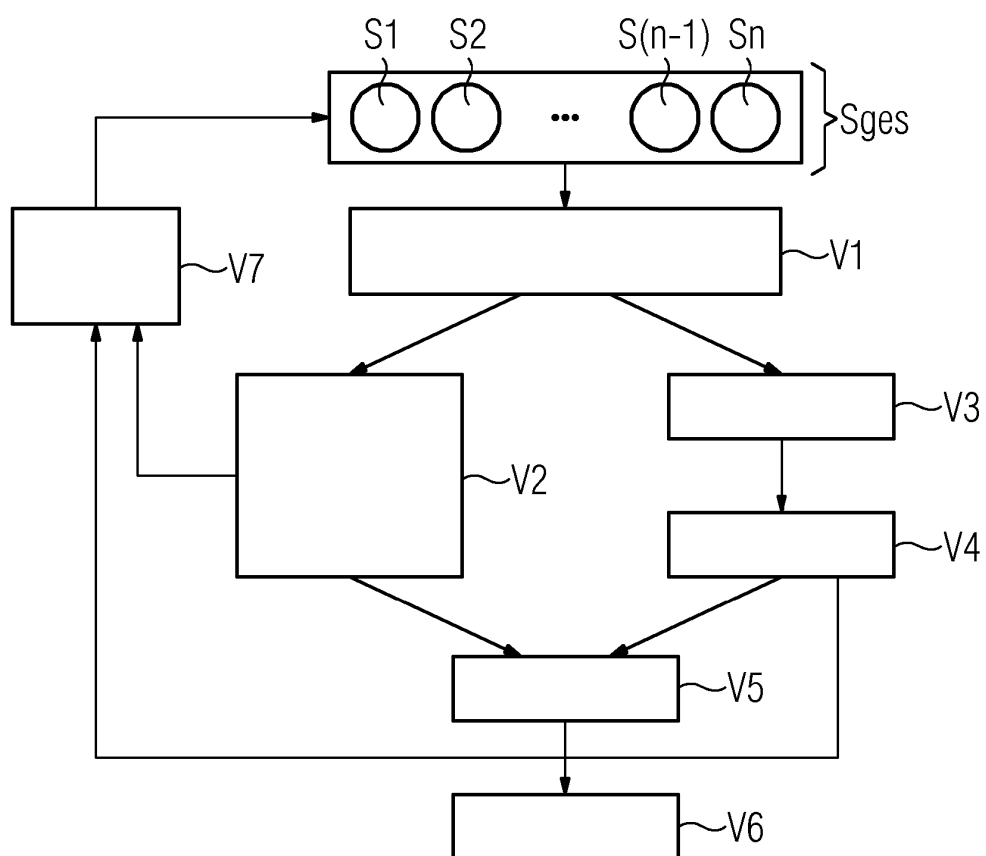


FIG 2



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 2014298099 A1 [0004]
- CN 102825504 B [0005]
- US 5566092 A [0006]